

Caracterización morfológica y estructural de nuevos volcanes de fango en el margen marroquí del Golfo de Cádiz

Morphological and structural characterization of new mud volcanoes along the Moroccan margin of the Gulf of Cadiz

M.C. Fernández-Puga (1), O. Sánchez-Guillamón (2), L.M. Fernández-Salas (3), J.T. Vázquez (2), D. Palomino (2), L. Somoza (4), T. Medialdea (4), F.J. González (4) & R. León (4)

- (1) Dpto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Avda República Saharaui s/n. 11510 Puerto Real, Cádiz. E-mail: mcarmen.fernandez@uca.es
(2) Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Málaga, Puerto Pesquero s/n. 29640 Fuengirola, Málaga
(3) Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Cádiz, Muelle de Levante s/n. 11006, Cádiz
(4) Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas 23, 28003, Madrid

Abstract: The mud volcanism in the Iberian and Moroccan margins of the Gulf of Cadiz is well known over more than a decade. Nevertheless, new structures and morphologies related to fluid venting are still discovered in the recent oceanographic cruise SUBVENT2 in 2014 along the Moroccan margin. Four new mud volcanoes have been identified along two sector of Moroccan margin. Two of them in the Eastern Moroccan Margin - EMF (Subvent and Rosco mud volcanoes), located in the upper slope between 350 and 500 m depth. The other two in the Western Moroccan Margin - WMF (Demetrio de Armas and Port Royal), located in the middle slope at 1800 m depth. The main aim of this paper is the morphological characterization of these new mud volcanoes using swath bathymetric data to analyze the relation between tectonic and sedimentary processes with multiparametric sounder and high resolution multichannel seismic profiles. The interpretation of these seismic profiles show that the source of expelled material of mud volcanoes in the EMF is buried under a sedimentary cover of contouritic deposits of 200 m thickness. A high sedimentation rate can cause an increase of pressure that could act as triggered of mud volcano edificies. In the WMF, the new mud volcanoes are developed related to thrust of the Allocthonous Unit of the Gulf of Cadiz. The origin of these structures is mainly related to de NW-SE tectonic compression .

Key words: Mud volcanoes, Gulf of Cadiz, Moroccan margin

1. INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de los volcanes de fango (VF) a lo largo de todo el talud del Golfo de Cádiz a finales de la década de los 90 y hasta la fecha, se han contabilizado más de 70 volcanes.

Los VF del margen marroquí fueron descubiertos en la campaña TTR9 llevada a cabo en 1999 por investigadores rusos. Para describir los primeros volcanes identificados en el margen marroquí, se dividió dicho margen en tres zonas: *Western Moroccan Field* (WMF), *Middle Moroccan Field* (MMF) y *Eastern Moroccan Field* (EMF) (Ivanov et al., 2000), continuándose las investigaciones hasta la actualidad (Gardner et al., 2001, Van Rensbergen et al., 2005, León et al., 2012).

Geológicamente, la zona del margen objeto de estudio se encuentra situada en la cuenca del Rharrb, cuenca de antepais situada al sur del Arco de Gibraltar resultado de la formación del orógeno Bético-Rifeño. Durante la campaña SUBVENT 2, llevada a cabo por científicos españoles en el marco

del proyecto SUBVENT en el año 2014, se descubrieron cuatro nuevos volcanes, de los cuales dos de ellos se localizan en el EMF, encuadrados entre las coordenadas 6°36' y 6°30' de longitud oeste y 35°32' y 35°28' de latitud norte. Y otros dos en el WMF, encuadrados en las coordenadas 7°46' y 7°43' de longitud oeste y 35°25' y 35°3' de latitud norte (Fig. 1).

El objetivo fundamental de este trabajo es la caracterización morfológica y estructural de los nuevos volcanes de fango identificados en el margen magrebí del Golfo de Cádiz, de forma que nos permita interpretar los procesos geológicos que pueden influir en el desarrollo de dichas estructuras relacionadas con la expulsión de fluidos, enriquecidos en metano, sobre la superficie del fondo marino. La importancia de este fenómeno y las estructuras que de él se derivan, queda puesta de manifiesto por la diversidad de hábitats que se desarrollan a su amparo y la función que desempeñan como captadores de metano.

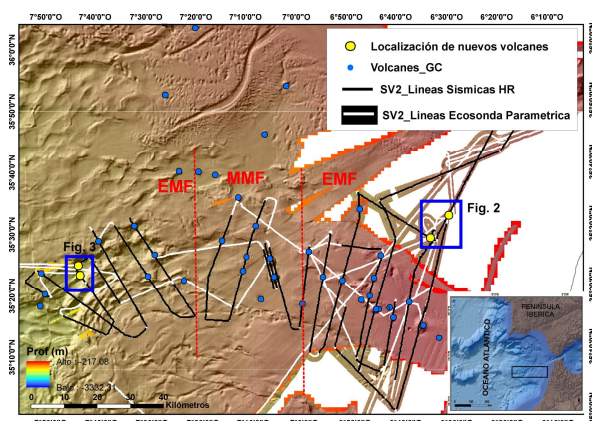


Fig. 1. Mapa de situación de la zona de estudio con la localización de los nuevos volcanes de fango descritos en este trabajo que aparecen con puntos en amarillo, y la localización de las líneas de sísmica de reflexión de alta resolución y ecosonda paramétrica registradas en la campaña SUBVENT2. En los recuadros azules se indica la localización de las figuras 2 y 3.

2. METODOLOGÍA

Para la caracterización morfológica de los nuevos volcanes se han utilizado los datos registrados con la ecosonda batimétrica de aguas profundas tipo multihaz Atlas Hydrosweep DS de 140 haces. Estos datos fueron procesados con el paquete de programas informáticos CARIS HIPS & SIPS, obteniendo una malla batimétrica con una resolución de 25x25 m en la zona de estudio.

La caracterización de la estructura profunda se realizó a partir de la interpretación de registros sísmicos de dos tipos: a) Un sistema de sísmica de reflexión de alta resolución de 3 canales y una sarta de 3 clúster de cañones de 90, 140 y 300 plgs³, utilizando para la adquisición el sistema informático Delph. Posteriormente estos registros fueron procesados con el programa informático Hot Shots. B) Un sistema de sísmica de muy alta resolución, ecosonda paramétrica Atlas Parasound P35, que obtiene registros de mayor resolución vertical.

Se han utilizado las descripciones de las muestras de sedimento obtenidas mediante testigos gravedad realizados en la cima de algunos volcanes.

3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE NUEVOS VOLCANES DE FANGO EN EL MARGEN MARROQUÍ DEL GOLFO DE CÁDIZ

La descripción de los nuevos volcanes de fango se ha realizado en base a las dos regiones del talud donde se han localizado. Han sido identificadas y catalogadas, realizando una sencilla clasificación considerando las dos regiones del talud continental en el que se encuentran.

3.1 Nuevos volcanes en EMF

A lo largo del talud superior del margen marroquí, se han identificado dos nuevos volcanes que han sido denominados con los nombre de Rosco y Subvent. Estos dos volcanes se presentan de forma aislada, al este del El-Arraiche Field definido por Van Ransbergen *et al.* (2005), donde se describieron un clúster de 8 volcanes localizados entre los 200 y 700 m de profundidad.

Mientras que a lo largo de El-Arraiche Field la superficie del fondo presenta importantes relieves e irregularidades debido al afloramiento de parte de las Unidades Alóctonas del Golfo de Cádiz (Medialdea *et al.*, 2009), estos dos nuevos volcanes se localizan en una zona donde la superficie del fondo es prácticamente plana.

El volcán Rosco se encuentra situado a 358 m de profundidad, a unos 35 Km al oeste de la costa marroquí. Presenta en planta una forma cónica con un diámetro máximo en la base de unos 676 m y un perfil asimétrico como resultado de la pendiente propia del talud. Su parte más alta está situada a 333 m y la parte central en forma de cráter con unos 190 m de diámetro se sitúa a unos 357 m, presentando por tanto el edificio una elevación máxima aproximada de unos 45m (Fig 2A).

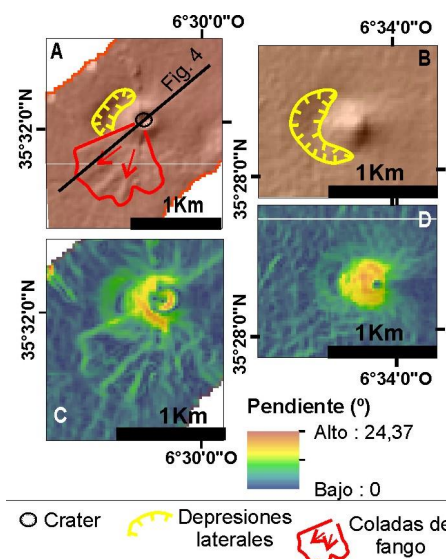


Fig. 2. Volcanes del sector EMF. 2A y 2B: modelo batimétrico de los volcanes Rosco y Subvent respectivamente con los rasgos morfológicos más significativos. 2C y 2D: mapa de pendientes de los dos volcanes

En la parte oeste del edificio se observa una depresión elongada en dirección NE-SO con una profundidad de 25 m sobre el nivel medio del fondo, mientras que hacia el SO se pueden observar depósitos de coladas con una longitud máxima aproximada desde la zona central de unos 860 m. En el mapa de pendientes se observa que los valores máximos se dan en la zona próximas a la cima en la

vertiente occidental y sudoccidental, entre 7 y 9° respectivamente (Fig 2C).

Sobre este volcán se realizó un testigo de gravedad en la ladera sur (SV2-TG14) (Fig. 4B). Se obtuvieron 182 cm de testigo con sedimentos que varían desde una composición fangosa-arenosa en la parte más superficial a una composición más arenosa-fangosa en zonas más enterradas, describiéndose finalmente brecha fangosa a partir de los 140 cm de profundidad. A lo largo de todo el testigo destaca la presencia de fragmentos de corales de escala centimétrica.

El volcán Subvent se localiza a 475 m de profundidad a unos 46 Km al oeste de la costa marroquí. Se trata de un edificio en forma cónica de perfil ligeramente asimétrico con la cima situada a 445 m de profundidad, con una altura máxima de 30m.

Su diámetro máximo en la base es de aproximadamente 1 km, tiene una depresión hacia el oeste al pie de la pendiente que llega a tener 15 m de profundidad sobre el nivel medio del fondo. En este caso no se ha podido identificar morfológicamente depósitos de coladas alrededor del volcán. Los mayores valores de pendiente se encuentran en la cara oeste del volcán, alcanzando los 10° en zonas próximas a la cima (Fig. 2B y D).

En el testigo de gravedad SV2-TG02 obtenido sobre la ladera este del volcán, se obtuvo una columna sedimentaria de 125 cm en el que se han descrito fangos masivos y cohesivos con clastos de diferentes tamaños hasta los 63 cm de profundidad. La brecha fangosa que caracteriza los volcanes de fango se observa entre los 63 a 91 cm de profundidad. A partir de esa profundidad se observa de nuevo fango masivo y cohesivo con clastos con diámetros centimétricos.

3.2 Nuevos volcanes en WMF

En el sector occidental del talud medio a unos 1800 m de profundidad, se han identificado dos nuevos volcanes que han sido denominados Demetrio de Armas y Port Royal. La morfología del fondo en esta región presenta notables irregularidades como resultado de las deformaciones de la superficie del fondo provocadas por la actividad de cabalgamientos enraizados en las Unidades Alóctonas del Golfo de Cádiz que se disponen según una dirección NE-SO, arqueándose hacia el S en dirección NO-SE con sentido de transporte tectónico dirigido hacia el oeste.

El volcán Demetrio de Armas se encuentra a 1860 m de profundidad. Presenta una forma elipsoidal con una longitud en dirección NE-SO de 1 km y una anchura de unos 850 m. Su cima está situada a unos 1765 m, tiene un perfil claramente asimétrico, con

alturas máximas en la vertiente S de unos 15 m y en la vertiente N la altura llegan a sobrepasar los 100 m (Fig. 3 A). El mapa de pendientes muestra valores máximos en torno a 20° hacia el N y NE (Fig. 3 B).

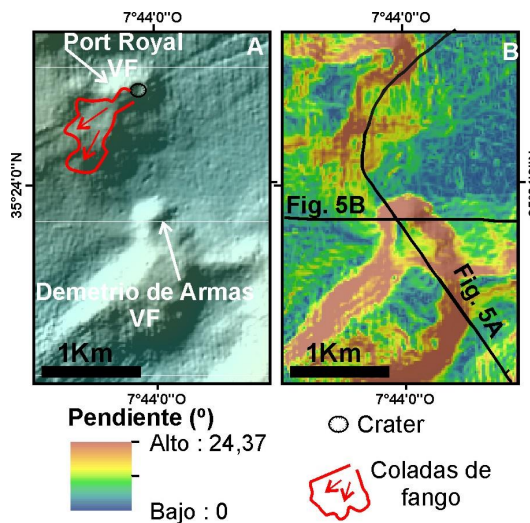


Fig. 3. Volcanes del sector WMF. 3A: modelo batimétrico de los VF Demetrio de Armas y Port Royal con los rasgos morfológicos más significativos. 3B: mapa de pendientes de los dos volcanes

El volcán Port Royal se sitúa a 2.3 km al N del volcán Demetrio de Armas. Se localiza a una profundidad media de 1820 m, con su parte más alta situada a unos 1700 m de profundidad, y 120 m de altura. Presenta una morfología cónica de unos 880 m de diámetro. La parte central del edificio corresponde a un cráter, caracterizado por una depresión de unos 23 m y un diámetro de 260 m. Desde la parte central y en dirección este se ha cartografiado depósitos de coladas de 280 m de anchura que se extienden unos 600 m hacia la base. En el cráter de este volcán se obtuvo un testigo de gravedad de 222 cm de longitud caracterizado por fango masivo los primeros 80 cm y por fragmentos centimétricos de corales a muro.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La caracterización externa e interna de cuatro nuevos VF localizados en dos zonas con ambientes sedimentarios y oceanográficos bien diferenciados a lo largo del talud superior y medio del margen marroquí, nos ha permitido profundizar en el conocimiento de los procesos geológicos que pueden influir en el desarrollo del mismo tipo de morfologías que se relacionan todas ellas con la migración y expulsión de fluidos sobre la superficie del fondo marino.

En los volcanes situados en el EMF, Rosco y Subvent, se observan construcciones de pequeñas dimensiones, con estructuras internas simétricas conectadas por canalizaciones verticales que proceden de unidades con alto contenido en fluidos que se encuentran cubiertas por un importante

espesor de depósitos contorníticos en las cercanías de los volcanes, en torno a 200 m (Fig. 4)

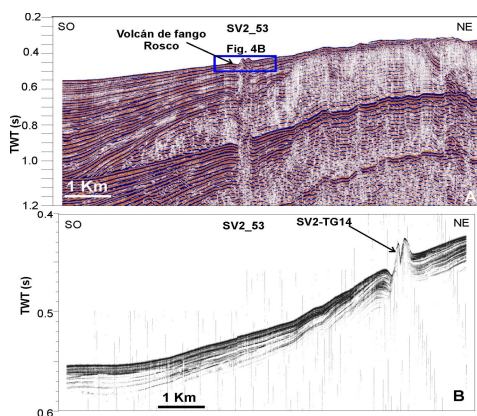


Fig. 4. A: Estructura del volcán de fango Rosco en un perfil de sismica multicanal de alta resolución. B: registro de este volcán obtenido con ecosonda paramétrica y posición del testigo de gravedad TG14.

El desarrollo de estos volcanes estarían más relacionados con factores de carga sedimentaria en un encuadre similar al descrito por Somoza *et al.*, (2012) como mecanismos desencadenantes de la formación de VF sobre el Sistema Depositional de Ceuta, donde las altas tasas de sedimentación favorecerían un aumento considerable de la compactación y por tanto la migración y expulsión de fluidos contenidos tanto en las Unidades Alóctonas del Golfo de Cádiz (Maldonado *et al.*, 1999, Mazurenko *et al.*, 2003).

Los volcanes de fango Demetrio de Armas y Port Royal se localizan sobre un cabalgamiento enraizado en las Unidades Alóctonas del Golfo de Cádiz en el WMF, presentando formas irregulares y asimétricas (Fig. 5)

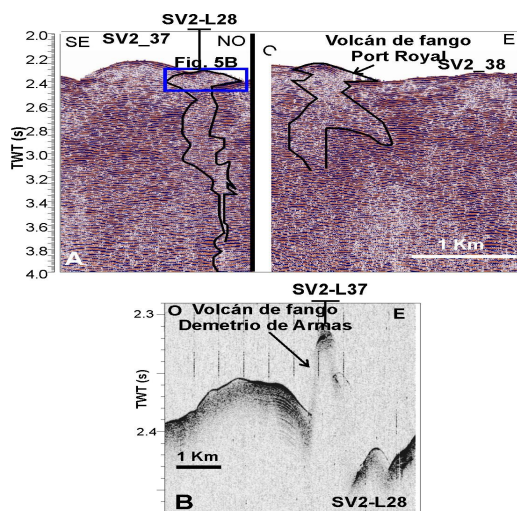


Fig. 5. A: Estructura de los volcanes de fango Demetrio de Armas y Port Royal en perfiles de sismica multicanal de alta resolución. B: Perfil del volcán Demetrio de Armas obtenido con ecosonda paramétrica

Este hecho puede ser explicado por los factores que originan las sobrepresiones sobre las unidades que

contienen los fluidos que migran hacia la superficie. En este sector del margen, las estructuras compresivas están controlando el desarrollo de volcanes de fango con estructuras asimétricas construidas a favor de la pendiente

Desde el punto de vista de la actividad actual de estos volcanes, aunque en los testigos de gravedad realizados sobre los volcanes o en lugares próximos a ellos no se observa brecha fangosa en las zonas más superficiales, los análisis de metano realizados recientemente (Sánchez-Guillamón *et al.*, 2015) a lo largo de la columna de agua por encima de los volcanes Rosco y Demetrio de Armas, muestran valores de 118 nM y 103 nM respectivamente. Se trata de valores indicativos de la actividad actual de estas estructuras, aunque las emisiones de gas se realizarían de una manera difusa y continua pero a través de las mismas vías de escape utilizadas en la formación de los volcanes de fango.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto SUBVENT (CGL2012-39524-C02) financiado por el MINECO

REFERENCIAS

- Gardner, J. (2001). Mud volcanoes revealed and sampled on the Western Moroccan continental margin. *Geophysical Research Letters*, 28, 339-342.
- Ivanov, M.K., Kenyon, N., Nielsen, *et al.* (2000). Goals and principal results of the TTR-9 cruise. *IOC/UNESCO Workshop Report*, 168, 3-4.
- León, R., Somoza, L., Medialdea, *et al.* (2012). New discoveries of mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cadiz): morphostructural characterization. *Geo-Marine Letters* 32, 473-488.
- Maldonado, A., Somoza, L. & Pallarés, L. (1999). The Betic Orogen and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cadiz: geological evolution (Central North Atlantic). *Marine Geology*, 155, 9-43.
- Mazurenko, L.L., Soloviev, V.A., Gardner *et al.* (2003). Gas hydrates in the Ginsburg and Yuma mud volcano sediments (Moroccan margin): results of chemical and isotopic studies of pore water. *Marine Geology*, 195, 201-210.
- Medialdea, T., Somoza, L., Pinheiro, *et al.* (2009). Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cadiz. *Marine Geology*, 261, 48-63.
- Sánchez-Guillamón, O., García, M.C., Moya, *et al.* (2015). A preliminary characterization of greenhouse gas (CH₄ and CO₂) emissions from Gulf of Cadiz mud volcanoes. *Resúmenes sobre el VIII Simposio MIA15*.
- Somoza, L., Medialdea, T., León, *et al.* (2012). Structure of mud volcano systems and pockmarks in the region of the Ceuta Contourite Depositional System (Western Alborán Sea). *Marine Geology*, 332-334, 4-26.
- Van Rensbergen, P., Depreiter, D., Pannemans, *et al.* (2005). The El Arraiche mud volcano field at the Moroccan Atlantic slope, Gulf of Cadiz. *Marine Geology*, 219, 1-17.